

В. Н. ВЬЮХИН
(Новосибирск)

АНАЛОГО-ЦИФРОВОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ И ОБРАБОТКА ШИРОКОПОЛОСНЫХ СИГНАЛОВ

Перспективность и универсальность методов цифровой обработки сигналов ставит задачу расширения полосы частот цифровой обработки, что соответствует общей тенденции повышения быстродействия и производительности микроэлектронных схем и процессоров.

В настоящее время освоен телевизионный диапазон частот, в радиолокации внедряется цифровая обработка видеосигналов. Задача внедрения цифровых методов для обработки широкополосных сигналов распадается на две: разработка широкополосных аналого-цифровых преобразователей и разработка алгоритмов и аппаратуры обработки потока данных. Существует два класса задач: получение и обработка больших массивов данных (подразумевается работа в реальном времени), регистрация коротких участков сигнала и дальнейшая обработка в режиме «off line» (типичная задача цифровой осциллографии).

В настоящей работе описывается одна из реализаций широкополосного АЦП и обсуждаются перспективы расширения полосы частот, а также алгоритмы обработки сигналов.

На рисунке приведена принципиальная схема АЦП с аналоговым ЗУ (АЗУ) на входе (ЛЗ — линия задержки). Необходимость включения АЗУ обусловлена тем, что отечественные микросхемы параллельных АЦП серии 1107 имеют полосу ~ 5 МГц, хотя частота преобразования может достигать 100 МГц. АЗУ содержит входной и выходной буферные каскады на биполярных транзисторах и шестидиодный мостовой ключ со схемой управления. Входной буферный каскад на триодах V_1, V_2 позволяет получить высокое входное сопротивление и ток заряда накопительного конденсатора в режиме выборки до 30 мА. Выходной буферный каскад на V_9, V_{10} обеспечивает малый ток утечки в режиме хранения и низкое выходное сопротивление для быстрого заряда входной емкости АЦП ≈ 25 пФ.

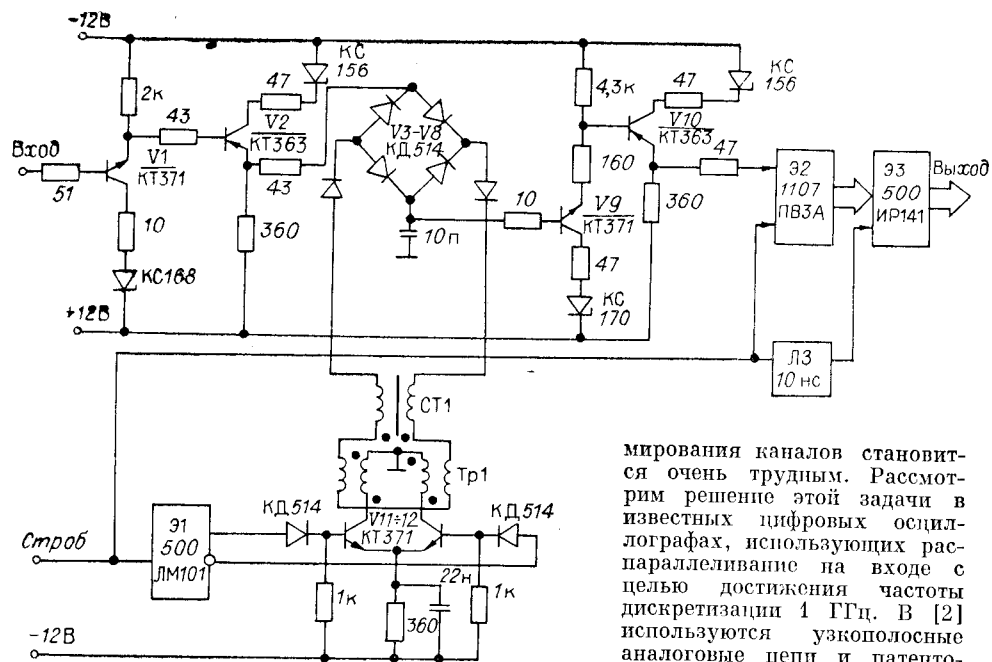
Диодный мостовой ключ управляется переключателем тока на V_{11}, V_{12} через широкополосный трансформатор Tr_1 типа «длинная линия» (ТДЛ) и симметрирующий трансформатор (СТ). ТДЛ намотан кабелем РК-50-0,6 на сердечник М400 $K_{10} \times 6 \times 3, 4 \times 3$ витка и обеспечивает передачу импульсов тока с фронтом 1,5 нс. Симметрирующий трансформатор намотан таким же кабелем на сердечник М400 $K_{10} \times 6 \times 3, 2 \times 4$ витка и предотвращает высокочастотное шунтирование моста схемой управления. Экспериментально получены следующие характеристики АЗУ при входном сигнале ± 1 В. В режиме выборки: коэффициент передачи 0,92 ($R_n = 2$ к); полоса частот 200 МГц; время выборки ≤ 6 нс; в режиме хранения: скорость разряда конденсатора 1 мВ/нс; коэффициент передачи 1/60. Максимальная частота дискретизации 75 МГц.

Экспериментальные исследования показали, что для микросхемы 1107ПВЗ необходимо обеспечить режим по входу таким, чтобы длительность «пюльчки» сигнала на входе до строба была 2—3 нс. С учетом внутренней задержки строба 2 нс фактическая длительность «пюльчки» на входе компараторов АЦП до стробирования будет 4—5 нс. При выполнении этого условия сохраняется монотонность характеристики преобразования при входном перепаде до ± 1 или 0—1,5 В между соседними выборками.

Дальнейшее повышение частоты дискретизации получается путем параллельной работы нескольких АЦП со сдвижкой во времени. Таким способом за рубежом достигнута частота дискретизации 1 ГГц и полоса 250 МГц [1]. Следует отметить, что параллельное включение АЦП повышает лишь частоту дискретизации, полоса же будет целиком определяться одиночным АЦП. Эффективная разрядность большинства современных параллельных АЦП сильно падает с частотой [3], поэтому обеспечение полосы 100 МГц и выше достигается лишь подключением АЗУ с соответствующей полосой.

Для решения задачи статистической обработки широкополосных сигналов разработана система, содержащая 4 АЦП, обеспечивающая частоту дискретизации до 300 МГц и полосу частот до 200 МГц (см. рисунок). Конструктивно система содержит четыре модуля, в каждом из которых размещены АЦП и процессор статистической обработки (сумматор-накопитель). Фиксированный временной сдвиг запуска каналов задается кабельными задержками.

Согласно канонам теории цифровой обработки сигналов, дискретизирующая последовательность должна быть строго периодичной. Поэтому повышение частоты дискретизации путем параллельного включения АЦП (с АЗУ на входе) требует точного таймирования каналов. Поскольку выборки входного сигнала берутся в разных каналах, ошибка в их временном расположении отображается как неточность выборки входного сигнала. Для сохранения 6-разрядной точности в полосе 200 МГц ошибка таймирования каналов должна быть меньше 7 пс [1, 3]; эта ошибка полностью эквивалентна апертурной ошибке АЦП. В связи с этим техническое решение задачи тай-



мирования каналов становится очень трудным. Рассмотрим решение этой задачи в известных цифровых осциллографах, использующих распараллеливание на входе с целью достижения частоты дискретизации 1 ГГц. В [2] используются узкополосные аналоговые цепи и патентованная адаптивная фазоуправляемая система для генера-

ции восьми сдвинутых по фазе колебаний, возбуждаемых одним генератором 125 МГц. Более радикально эта проблема решена в [1] путем установки добавочного АЗУ, дискретизирующего входной сигнал с максимальной частотой дискретизации. На максимальной частоте 1 ГГц время выборки 500 пс и время хранения 500 пс. Поэтому допустимая ошибка таймирования последующей 4-канальной схемы 500 пс, что на 2 порядка выше исходных требований. Такое решение задачи позволяет в широких преде-

лах регулировать частоту дискретизации, но требует создания АЗУ с полосой 1 ГГц. Возможны следующие решения этой задачи на отечественных элементах.

1. Использование фиксированных линий задержки с регулировкой задержек вентилями серии 1500 и их точным измерением. Такое решение не позволяет менять частоту дискретизации в пределах $f_m - f_m N$ (f_m — максимальная частота дискретизации одиночного АЦП, N — число каналов), но эта задача может быть решена, например, в цифровой осциллографии путем увеличения длины запоминаемой реализации с последующим прореживанием цифровых отсчетов.
2. Использование логических схем на арсениде галлия и разработка на их основе генератора и распределителя импульсов с частотой тактирования 1 ГГц. Предварительно необходимо провести исследования стабильности временных задержек этих микросхем.

3. В некоторых задачах, например когерентной статистической обработки сигналов с целью выделения их из шумов, не требуется реконструкции исходного сигнала, поэтому нет необходимости в точной периодичности процесса дискретизации.

Многоканальная система параллельно включенных АЦП генерирует поток информации (в сотни Мбайт/с), в связи с чем возникает задача восприятия и обработки информации с такой скоростью. В цифровой осциллографии эта задача решается путем установки в каждом канале быстрого ОЗУ с распараллеливанием.

В задачах реального времени, допускающих распараллеливание вычислительного процесса, могут быть реализованы простейшие алгоритмы типа накопления, сравнения с эталоном и более сложные алгоритмы на основе табличной выборки. В последнем случае таблицы создаются путем предварительного счета и их записи в ОЗУ, а исходная информация используется как адресная.

Таким образом, в настоящее время существуют возможности для внедрения методов цифровой обработки сигналов в полосе до 200 МГц.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. A one-Gigasample-per-Second Analog-to-Digital Converter // Hewl. Pack. J.— June, 1988.
2. Waveforms Digitizer Blazes at 1 Gsample/s // Electron. Design.— 1986.— 34, N 26.
3. Focus on Flash A-D Converters // Electron. Design.— 1988.— 14.— P. 131.

Поступило в редакцию 29 марта 1989 г.